



**UNIVERSITI PUTRA MALAYSIA**

**FOTODEGRADASI FENOL DAN 4-KLOROFENOL DALAM AIR  
MENGUNAKAN TITANIUM DIOKSIDA**

**MD SUHAIMI BIN ELIAS**

**FSAS 2001 8**

**FOTODEGRADASI FENOL DAN 4-KLOROFENOL DALAM AIR  
MENGUNAKAN TITANIUM DIOKSIDA**

**MD SUHAIMI BIN ELIAS**

**MASTER SAINS  
UNIVERSITI PUTRA MALAYSIA**

**2001**



**FOTODEGRADASI FENOL DAN 4-KLOROFENOL DALAM AIR  
MENGUNAKAN TITANIUM DIOKSIDA**

**Oleh**

**MD SUHAIMI BIN ELIAS**

**Tesis Ini Dikemukakan Sebagai Memenuhi Keperluan Untuk  
Ijazah Master Sains Di Fakulti Sains dan Pengajian Alam Sekitar  
Universiti Putra Malaysia**

**Disember 2001**



Abstrak tesis yang dikemukakan kepada Senat Universiti Putra Malaysia sebagai memenuhi keperluan untuk ijazah Master Sains

**FOTODEGRADASI FENOL DAN 4-KLOROFENOL DALAM AIR  
MENGUNAKAN TITANIUM DIOKSIDA**

Oleh

**MD SUHAIMI ELIAS**

**Disember 2001**

**Pengerusi : Profesor Madya Zulkarnain Zainal, Ph.D.**

**Fakulti : Sains dan Pengajian Alam Sekitar**

Pencemaran sumber air merupakan masalah utama kepada keperluan air minuman dan kehidupan akuatik pada masa kini. Pelbagai teknologi digunakan untuk merawat sumber air. Salah satu kaedah tersebut ialah dengan menggunakan semikonduktor  $\text{TiO}_2$  sebagai fotomangkin dalam fotodegradasi sebatian organik.

Dalam kajian ini fotodegradasi fenol dan 4-klorofenol menggunakan serbuk mangkin  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{TiO}_2$  (sol-gel) yang dipegunkan di atas kaca ( $\text{TiO}_2$ /kaca) digunakan. Pemegungan  $\text{TiO}_2$ /kaca dilakukan dengan dua kaedah; iaitu berdasarkan bilangan celupan  $\text{TiO}_2$ /kaca dan berdasarkan amaun  $\text{TiO}_2$ .

Didapati dengan menggunakan serbuk mangkin  $\text{TiO}_2$  kadar fotodegradasi 20 ppm fenol mencapai 73.0% dan 4-klorofenol ialah 97.4%. Kadar fotodegradasi fenol mencapai 30.5% dengan menggunakan kaedah bilangan celupan  $\text{TiO}_2$ /kaca dimana pencelupan kaca dilakukan sebanyak 8x. Manakala dengan menggunakan kaedah berdasarkan amaun  $\text{TiO}_2$ /kaca didapati kadar fotodegradasi fenol mencapai 43.4% apabila jisim  $\text{TiO}_2$  yang

dipegunkan di atas kaca mencapai jisim maksimum iaitu  $0.077 \pm 0.003$  g. Apabila amaun  $\text{TiO}_2$ /kaca meningkat kadar fotodegradasi fenol juga meningkat.

Peningkatan suhu pengkalsinan  $\text{TiO}_2$ /kaca memberikan keputusan perkadaran songsang dimana peningkatan suhu pengkalsinan mengurangkan kadar fotodegradasi fenol. Pada suhu pengkalsinan yang tinggi didapati berlakunya penanggalan  $\text{TiO}_2$  yang dipegunkan ke atas kaca. Namun kesan kenaikan suhu larutan fenol dan 4-klorofenol menunjukkan perkadaran terus, dimana kenaikan suhu  $30^\circ\text{C}$  hingga  $50^\circ\text{C}$  masing-masing dapat meningkatkan kadar fotodegradasi fenol sebanyak 15.8% dan 12.2% bagi 4-klorofenol.

Kesan penambahan ion-ion  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Zn}^{2+}$  kepada larutan fenol terhadap kadar fotodegradasi juga dikaji. Didapati dengan menggunakan serbuk  $\text{TiO}_2$  kadar fotodegradasi meningkat apabila ion  $\text{K}^+$  dan  $\text{Ca}^{2+}$  dengan kepekatan 0.01 M dan ion  $\text{Zn}^{2+}$  dengan kepekatan 0.001 M ditambahkan. Tetapi dengan penambahan ion  $\text{Na}^+$  ianya didapati merencatkan kadar fotodegradasi fenol. Manakala dengan menggunakan amaun  $\text{TiO}_2$ /kaca pula, penambahan ion  $\text{Ca}^{2+}$  merencatkan kadar fotodegradasi fenol dan 4-klorofenol. Sementara penambahan ion  $\text{K}^+$  pada kepekatan 0.01M pula dapat meningkatkan kadar fotodegradasi 4-klorofenol.

Abstract of thesis presented to the Senate Universiti Putra Malaysia in fulfilment of the requirement for the degree of Master of Science

**PHOTODEGRADATION OF PHENOL AND 4-CHLOROPHENOL IN WATER  
USING TITANIUM DIOXIDE**

By

**MD SUHAIMI ELIAS**

**December 2001**

**Chairman: Associate Professor Zulkarnain Zainal, Ph.D.**

**Faculty : Science and Environmental Studies**

Presently, pollution of water resources has become a major problem to the supply of drinking water and aquatic living organisms. Many technologies are being used to treat the water resources. One of them is by using the semiconductor  $\text{TiO}_2$  as a photocatalyst in degradation of organic pollution.

In this study, the  $\text{TiO}_2$  catalyst in a powder form and  $\text{TiO}_2$  (sol-gel) immobilized on a glass substrate ( $\text{TiO}_2/\text{glass}$ ) were used to photodegrade phenol and 4-chlorophenol. The immobilization of  $\text{TiO}_2/\text{glass}$  were done in two ways; base on the number of dip coating and the amount of  $\text{TiO}_2$  immobilized on a glass substrate.

The photodegradation of 20 ppm phenol and 4-chlorophenol of about 73.0 % and 97.4 % was achieved respectively when the  $\text{TiO}_2$  catalyst in a powder form was used. However, the photodegradation rate of phenol was 30.5 % by using the 8 times dip coating of  $\text{TiO}_2/\text{glass}$  and 43.4 % by using the maximum amount of  $\text{TiO}_2$   $0.077 \pm 0.003$  g immobilized on glass. The increase of the amount of  $\text{TiO}_2/\text{glass}$  increased the photodegradation rate of phenol.

The effect of calcination temperatures of TiO<sub>2</sub>/glass showed the reverse effect on the rate of photodegradation, where the increase of calcination temperatures decreased the photodegradation rate of phenol. At higher calcination temperature more TiO<sub>2</sub> was peeled off from the glass surface. However the temperature of phenol and 4-chlorophenol solutions has significant effect on the rate. The increased of temperature from 30 °C to 55 °C increased the amount of photodegraded phenol and 4-chlorophenol by 15.8 % and 12.2 % respectively.

The effect of addition of K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> and Zn<sup>2+</sup> ions to the phenol solution were also investigated. The addition of K<sup>+</sup> and Ca<sup>2+</sup> ions at 0.01 M and Zn<sup>2+</sup> ion at 0.001 M increased the photodegradation rate of phenol, by using TiO<sub>2</sub> catalyst in a powder form. However, the addition of Na<sup>+</sup> ion inhibited the photodegradation rate of phenol. In the case of using TiO<sub>2</sub>/glass the addition Ca<sup>2+</sup> ion inhibited the photodegradation rate of phenol and 4-chlorophenol. However, the addition of 0.001 M K<sup>+</sup> ion increased the photodegradation rate of 4-chlorophenol.

## **PENGHARGAAN**

Syukur Alhamdulillah segala puji bagi Allah kerana dengan limpah izinNya dan hidayahNya maka tesis ini berjaya disiapkan. Ucapan jutaan terima kasih kepada penyelia, Prof. Madya Dr. Zulkarnain Zainal yang banyak menyumbang idea, kritikan, kata-kata semangat dan dorongan serta kepercayaan kepada saya dalam menyiapkan tesis ini. Terima kasih juga kepada Prof. Madya Dr. Mohd. Zobir Hussein dan Dr. Taufiq Yap Yun Hin yang banyak memberikan nasihat, teguran dan kerjasama.

Paling istimewa untuk bonda, ayahanda, abang, kakak, adik dan tunang tersayang “As” serta keluarga yang lain yang telah banyak memberikan semangat, bantuan, sokongan dan keyakinan sehingga tesis ini berjaya disiapkan. Buat Rodhyrolin Shahdan, Looi Ming Hong, Puan Nor Hafizah, Encik Zainudin, Encik Narzari dan Cik Azilah (Biosains UPM), terima kasih atas kerjasama dan bantuan yang telah disumbangkan sepanjang menjalankan penyelidikan ini.

Tidak dilupakan buat teman seperjuangan dan rakan serumah Rodhy, Adnan, Azhar, Norhafizi dan penghuni Makmal Kimia Lama 2 di atas segala bantuan kalian secara langsung atau tidak langsung dalam membantu menjayakan penyelidikan ini. Terima kasih semua.



Saya mengesahkan bahawa Jawatankuasa Pemeriksa bagi Md Suhaimi Bin Elias telah mengadakan pemeriksaan akhir pada 11<sup>hb</sup> Disember 2001 untuk menilai tesis Master Sains beliau yang bertajuk “Fotodegradasi Fenol dan 4-Klorofenol dalam Air Menggunakan Titanium Dioksida” Mengikut Akta Universiti Pertanian Malaysia (Ijazah Lanjutan) 1980 dan Peraturan-Peraturan Universiti Pertanian Malaysia (Ijazah lanjutan) 1981. Jawatankuasa Pemeriksa memperakukan bahawa calon ini layak dianugerahkan ijazah tersebut. Anggota Jawatankuasa pemeriksa adalah seperti berikut:

**ABDUL HALIM BIN ABDULLAH, Ph.D.**

Pensyarah  
Fakulti Sains dan Pengajian Alam Sekitar  
Universiti Putra Malaysia  
(Pengerusi)

**ZULKARNAIN BIN ZAINAL, Ph.D.**

Profesor Madya,  
Fakulti Sains dan Pengajian Alam Sekitar  
Universiti Putra Malaysia  
(Ahli)

**MOHD. ZOBIR BIN HUSSEIN, Ph.D.**

Profesor Madya,  
Fakulti Sains dan Pengajian Alam Sekitar  
Universiti Putra Malaysia  
(Ahli)

**TAUFIQ YAP YUN HIN, Ph.D, CChem. MRSC (U.K).**

Pensyarah  
Fakulti Sains dan Pengajian Alam Sekitar  
Universiti Putra Malaysia  
(Ahli)



**MOHD CHAZALI MOHAYIDIN, Ph.D.**

Profesor  
Timbalan Dekan,  
Pusat Pengajian Siswazah  
Universiti Putra Malaysia

Tarikh: 30 DEC 2001

Tesis ini telah diserahkan kepada Senat Universiti Putra Malaysia dan telah diterima sebagai memenuhi keperluan untuk ijazah Master Sains



.....  
**AINI BT. IDERIS, Ph.D.**  
Profesor  
Dekan,  
Pusat Pengajian Siswazah  
Universiti Putra Malaysia

Tarikh: **14** MAR 2002

## **PENGAKUAN**

Saya mengaku bahawa tesis ini adalah hasil kerja saya yang asli melainkan petikan dan sedutan yang telah diberi penghargaan di dalam tesis. Saya juga mengaku bahawa tesis ini tidak dimajukan untuk ijazah-ijazah lain di Universiti Putra Malaysia atau institusi-institusi lain.



.....  
(MD SUHAIMI BIN ELIAS)

Tarikh: 29-12-2001

## KANDUNGAN

### Muka Surat

<b>ABSTRAK</b>	ii
<b>ABSTRACT</b>	iv
<b>PENGHARGAAN</b>	vi
<b>PENGESAHAN</b>	vii
<b>PENGAKUAN</b>	ix
<b>KANDUNGAN</b>	x
<b>SENARAI JADUAL</b>	xiii
<b>SENARAI RAJAH</b>	xiv
<b>SENARAI SINGKATAN</b>	xxii

### BAB

<b>I</b>	<b>Pengenalan</b>	
1.1	Pengenalan Pencemaran	1
1.2	Mangkin	3
1.3	Fotomangkin dan Cahaya	6
1.4	Konsep Asas Fotomangkin	8
1.5	Semikonduktor	10
	1.5.1 Semikonduktor Oksida Logam	10
	1.5.2 Jenis-jenis Semikonduktor	12
	1.5.3 Semikonduktor Titanium Dioksida (TiO <sub>2</sub> )	14
1.6	Sol-Gel Titanium Dioksida (TiO <sub>2</sub> )	17
1.7	Titanium Dioksida Sebagai Fotomangkin	18
1.8	Mekanisme Pembentukan Spesies Radikal Reaktif	19
1.9	Campuran Mangkin TiO <sub>2</sub> dan Ion Logam	21
1.10	Tindak balas Pemfotomangkinan Heterogen	22
	1.10.1 Proses Pemfotomangkinan Heterogen	22
	1.10.2 Tindak Balas Kimia di Permukaan Mangkin Heterogen	23
1.11	Pencemaran Fenol dan Klorofenol	24
1.12	Cara Penyingkiran Fenol dan Klorofenol	26
1.13	Hasil Fotodegradasi Fenol dan Klorofenol	27
	<b>Objektif Kajian</b>	30
<b>II</b>	<b>KAEDAH</b>	
2.1	Alat radas	31
2.2	Bahan Kimia	31
2.3	Peralatan	32
2.4	Proses Fotodegradasi Fenol dan 4-Klorofenol Menggunakan Kaedah Ampaian Serbuk Mangkin TiO <sub>2</sub>	33
2.5	Penyediaan TiO <sub>2</sub>	35
2.6	Pemegunan Titanium Dioksida di Atas Kaca (TiO <sub>2</sub> /Kaca)	35
	2.6.1 Pemegunan Berdasarkan Bilangan Celupan TiO <sub>2</sub> /kaca	35

2.6.2	Pemegunan Berdasarkan Amaun TiO <sub>2</sub> /Kaca	36
2.7	Proses Fotodegradasi Fenol Menggunakan TiO <sub>2</sub> di Atas Kaca (TiO <sub>2</sub> /Kaca)	36
2.7.1	Kesan Amaun TiO <sub>2</sub> /Kaca	36
2.7.2	Kesan Bilangan Celupan TiO <sub>2</sub> /kaca	37
2.8	Fotodegradasi Fenol Menggunakan TiO <sub>2</sub> /Kaca Yang Diulang Guna	38
2.9	Kesan Kepekatan ke Atas Fenol dan 4-klorofenol Menggunakan Ampaian Serbuk TiO <sub>2</sub>	38
2.10	Kesan Fotodegradasi Fenol dan 4-Klorofenol Menggunakan TiO <sub>2</sub> /Kaca	39
2.11	Kesan Pengkalsinan TiO <sub>2</sub> /Kaca ke Atas Fotodegradasi Fenol	39
2.11.1	Kesan Bilangan Celupan TiO <sub>2</sub> /Kaca	39
2.11.2	Kesan Amaun TiO <sub>2</sub> /Kaca	40
2.12	Kesan Penambahan Ion K <sup>+</sup> , Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> dan Zn <sup>2+</sup> Terhadap Fotodegradasi Fenol Menggunakan Ampaian Serbuk Mangkin TiO <sub>2</sub>	40
2.13	Kesan Penambahan Ion K <sup>+</sup> , Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> dan Zn <sup>2+</sup> Terhadap Fotodegradasi Fenol dan 4-Klorofenol Menggunakan TiO <sub>2</sub> /Kaca	40
2.14	Kesan Suhu Larutan Terhadap Fotodegradasi Menggunakan Serbuk TiO <sub>2</sub>	41
2.15	Kesan Suhu Larutan Terhadap Kadar Fotodegradasi Menggunakan TiO <sub>2</sub> /Kaca	41
2.16	Analisis Pembelauan Sinar-X (XRD)	42
2.17	Analisis HPLC (Kromatografi Cecair Prestasi Tinggi)	42
2.18	Analisis Morfologi Struktur Permukaan	43
<b>III</b>	<b>KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN</b>	
3.1	Fotodegradasi Fenol dan 4-klorofenol Menggunakan Serbuk TiO <sub>2</sub>	44
3.1.1	Kesan Amaun Serbuk TiO <sub>2</sub>	44
3.1.2	Pembentukan Bahan Perantaraan	49
3.1.3	Analisis HPLC Hasil Fotodegradasi	55
3.2	Fotodegradasi Fenol Menggunakan TiO <sub>2</sub> di Atas Kaca (TiO <sub>2</sub> /Kaca) Berdasarkan Bilangan Celupan	64
3.2.1	Pengaruh Bilangan Celupan ke Atas Fotodegradasi	64
3.2.2	Kinetik Fotodegradasi	66
3.2.3	Kesan Pengkalsinan TiO <sub>2</sub> /Kaca	70
3.3	Fotodegradasi Fenol Menggunakan Amaun TiO <sub>2</sub> di Atas Kaca	73
3.3.1	Kesan Amaun TiO <sub>2</sub> di Atas Kaca	73
3.3.2	Kinetik Fotodegradasi	75
3.3.3	Pembentukan Bahan Perantaraan	78
3.3.4	Hasil Fotodegradasi Fenol dan 4-Klorofenol	87
3.3.5	Kesan Pengkalsinan TiO <sub>2</sub> /Kaca	91

3.4	Kesan Kepekatan Terhadap Fotodegradasi Fenol dan 4-Klorofenol	94
3.4.1	Fotodegradasi Menggunakan Serbuk TiO <sub>2</sub>	94
3.4.2	Fotodegradasi Menggunakan TiO <sub>2</sub> /Kaca	97
3.5	Kesan Suhu Larutan Fenol dan Klorofenol Terhadap Fotodegradasi	102
3.5.1	Fotodegradasi Menggunakan Serbuk TiO <sub>2</sub>	102
3.5.2	Fotodegradasi Menggunakan TiO <sub>2</sub> /Kaca	104
3.6	Kesan Penambahan Ion K <sup>+</sup> , Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> dan Zn <sup>2+</sup> Terhadap Kadar Fotodegradasi Fenol dan 4-klorofenol	109
3.6.1	Fotodegradasi Menggunakan Serbuk TiO <sub>2</sub>	109
3.6.2	Fotodegradasi Menggunakan TiO <sub>2</sub> /Kaca	113
3.7	Analisis Morfologi TiO <sub>2</sub> /Kaca Menggunakan Mikroskop Pengimbas Elektron (SEM)	119
3.8	Analisis Pembelauan Sinar-X (XRD)	126
3.9	Analisis Pembelauan Sinar-X (XRD) TiO <sub>2</sub> /Kaca Yang Dikalsinkan Pada Suhu Yang Berbeza	131
3.10	Analisis Morfologi TiO <sub>2</sub> /Kaca Yang Dikalsinkan Pada Suhu Yang Berbeza Menggunakan Mikroskop Pengimbas Elektron (SEM)	133
3.11	Fotodegradasi Fenol Menggunakan TiO <sub>2</sub> /Kaca Yang Diulang Guna	137
<b>IV</b>	<b>KESIMPULAN DAN CADANGAN</b>	<b>139</b>
	<b>RUJUKAN</b>	<b>143</b>
	<b>LAMPIRAN</b>	<b>149</b>
	<b>BIODATA</b>	<b>152</b>

## SENARAI JADUAL

Jadual	Muka Surat
1 Senarai jisim mangkin optimum yang dilaporkan oleh para penyelidik	46
2 Nilai-nilai $k$ dan $t_{1/2}$ bagi fotodegradasi fenol berdasarkan bilangan celupan $\text{TiO}_2$ /kaca dengan kepekatan awal 20 ppm	69
3 Nilai-nilai pemalar kadar ( $k$ ) dan setengah hayat ( $t_{1/2}$ ) bagi pengkalsinan $\text{TiO}_2$ /kaca yang dicelup sebanyak 8x pada suhu yang berbeza	72
4 Nilai-nilai $k$ dan $t_{1/2}$ bagi tindak balas fotomangkin fenol berdasarkan kaedah amaun $\text{TiO}_2$ /kaca dengan kepekatan awal fenol 20 ppm	77
5 Kadar fotodegradasi fenol menggunakan kaca yang dikalsinkan pada suhu yang berbeza menggunakan amaun $\text{TiO}_2$ /kaca pada jisim 0.077 g	94
6 Nilai-nilai $k$ dan $t_{1/2}$ bagi tindak balas fenol dan 4-klorofenol dengan kepekatan yang berbeza menggunakan $\text{TiO}_2$ /kaca (0.077 g)	101
7 Kedudukan puncak-puncak $2\theta$ dan nilai-nilai $d(\text{\AA})$ dalam pembelauan sampel $\text{TiO}_2$ /kaca dengan menggunakan keadah amaun $\text{TiO}_2$ /kaca dan serbuk mangkin $\text{TiO}_2$ semua puncak yang dikesan berada dalam fasa anatasa	130

## SENARAI RAJAH

Rajah		Muka Surat
1	Tenaga keupayaan bagi tindak balas eksotermik yang menunjukkan fungsi mangkin merendahkan tenaga pengaktifan	5
2	Spektrum radiasi elektromagnet	7
3	Skema menunjukkan (a) pasangan elektron/lubang terbentuk pada permukaan partikel semikonduktor (b) Pemfotogenerasi pasangan elektron/lubang dalam jalur konduksi (J.K) dan jalur valensi (J.V). Tenaga jalur ditunjukkan sebagai $E_g$	8
4	Keadaan semikonduktor yang menunjukkan keadaan (a) penebat dan (b) konduktor	10
5	Skema menunjukkan semikonduktor <i>jenis n</i>	11
6	Skema menunjukkan semikonduktor <i>jenis p</i>	12
7	Paras tenaga menunjukkan kedudukan tenaga jalur konduksi dan jalur valensi pelbagai semikonduktor dalam media akeaus	14
8	Struktur menunjukkan kedudukan atom titanium dan oksigen dalam struktur (a) rutil (b) anatasa	16
9	Skema menunjukkan pembentukan bahan perantaraan hasil tindak balas tindak balas 4-klorofenol dengan radikal OH sehingga menghasilkan $CO_2$ dan $H_2O$	28
10	Skema menunjukkan bahan perantaraan yang terhasil sehingga fenol terurai kepada $CO_2$ dan $H_2O$	29
11 (a)	Skema menunjukkan susunan radas fotodegradasi fenol dan 4-klorofenol menggunakan kaedah ampaian serbuk mangkin $TiO_2$	34
11 (b)	Skema menunjukkan susunan radas fotodegradasi fenol dan 4-klorofenol menggunakan kaedah pemegunan $TiO_2$ /kaca	34
12	Kesan jisim serbuk mangkin $TiO_2$ terhadap peratus fotodegradasi larutan fenol	45



13	Kesan jisim serbuk mangkin $\text{TiO}_2$ terhadap peratus fotodegradasi larutan 4-klorofenol	45
14	Kepekatan relatif fenol melawan masa penyinaran menggunakan jisim serbuk mangkin $\text{TiO}_2$ yang berbeza dengan kepekatan awal 20 ppm	47
15	Kepekatan relatif 4-klorofenol melawan masa penyinaran menggunakan jisim serbuk mangkin $\text{TiO}_2$ yang berbeza dengan kepekatan awal 20 ppm	48
16	Spektrum UV menunjukkan perubahan puncak panjang gelombang maksimum semasa fotodegradasi fenol dengan menggunakan serbuk mangkin $\text{TiO}_2$	51
17	Spektrum UV menunjukkan perubahan puncak panjang gelombang maksimum semasa fotodegradasi 4-klorofenol dengan menggunakan serbuk mangkin $\text{TiO}_2$	51
18	Penggabungan serbuk mangkin $\text{TiO}_2$ dengan 4-klorofenol sehingga terhasilnya proses degradasi 4-klorofenol kepada $\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{CO}_2$	52
19	Penggabungan serbuk mangkin $\text{TiO}_2$ dengan fenol sehingga terhasilnya proses degradasi fenol kepada $\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{CO}_2$	54
20 (a)	Spektrum HPLC menunjukkan piawai sebatian fenol tanpa serbuk mangkin $\text{TiO}_2$	58
20 (b)	Spektrum HPLC menunjukkan fotodegradasi fenol pada masa 0 minit menggunakan serbuk mangkin $\text{TiO}_2$	58
20 (c)	Spektrum HPLC menunjukkan fotodegradasi fenol pada masa 120 minit menggunakan serbuk mangkin $\text{TiO}_2$	59
20 (d)	Spektrum HPLC menunjukkan fotodegradasi fenol pada masa 240 minit menggunakan serbuk mangkin $\text{TiO}_2$	59
20 (e)	Spektrum HPLC menunjukkan fotodegradasi fenol pada masa 360 minit menggunakan serbuk mangkin $\text{TiO}_2$	60
20 (f)	Spektrum HPLC menunjukkan fotodegradasi fenol pada masa 480 minit menggunakan serbuk mangkin $\text{TiO}_2$	60
21 (a)	Spektrum HPLC menunjukkan piawai sebatian 4-klorofenol tanpa serbuk mangkin $\text{TiO}_2$	61

21 (b)	Spektrum HPLC menunjukkan fotodegradasi 4-klorofenol pada masa 0 minit menggunakan serbuk mangkin $\text{TiO}_2$	61
21 (c)	Spektrum HPLC menunjukkan fotodegradasi 4-klorofenol pada masa 120 minit menggunakan serbuk mangkin $\text{TiO}_2$	62
21 (d)	Spektrum HPLC menunjukkan fotodegradasi 4-klorofenol pada masa 240 minit menggunakan serbuk mangkin $\text{TiO}_2$	62
21 (e)	Spektrum HPLC menunjukkan fotodegradasi 4-klorofenol pada masa 360 minit menggunakan serbuk mangkin $\text{TiO}_2$	63
21 (f)	Spektrum HPLC menunjukkan fotodegradasi 4-klorofenol pada masa 480 minit menggunakan serbuk mangkin $\text{TiO}_2$	63
22	Fotodegradasi fenol dengan kepekatan awal 20 ppm menggunakan $\text{TiO}_2$ /kaca pada beberapa bilangan celupan yang berlainan	65
23	Kesan bilangan celupan $\text{TiO}_2$ /kaca terhadap peratus degradasi fenol selepas 8 jam	66
24	Garis kinetik menunjukkan kehilangan fenol berdasarkan bilangan celupan $\text{TiO}_2$ /kaca	69
25	Kesan pengkalsinan 8x bilangan celupan $\text{TiO}_2$ /kaca terhadap kadar fotodegradasi fenol pada kepekatan 20 ppm pada suhu yang berbeza	71
26	Garis lurus kinetik menunjukkan kehilangan fenol kesan kalsinasi $\text{TiO}_2$ /kaca pada suhu yang berbeza	72
27	Penurunan kepekatan fenol terhadap masa untuk fotodegradasi berdasarkan amaun $\text{TiO}_2$ di atas kaca	74
28	Garis kinetik menunjukkan kehilangan fenol menggunakan kaedah berdasarkan amaun $\text{TiO}_2$ /kaca	76
29	Perkaitan diantara setengah hayat ( $t_{1/2}$ ) dan pemalar kadar (k) terhadap amaun $\text{TiO}_2$ /kaca	78
30 (a)	Spektrum HPLC menunjukkan piawai sebatian fenol menggunakan $\text{TiO}_2$ /kaca	81

30 (b)	Spektrum HPLC menunjukkan fotodegradasi fenol pada masa 0 minit menggunakan TiO <sub>2</sub> /kaca	81
30 (c)	Spektrum HPLC menunjukkan fotodegradasi fenol pada masa 120 minit menggunakan TiO <sub>2</sub> /kaca	82
30 (d)	Spektrum HPLC menunjukkan fotodegradasi fenol pada masa 240 minit menggunakan TiO <sub>2</sub> /kaca	82
30 (e)	Spektrum HPLC menunjukkan fotodegradasi fenol pada masa 360 minit menggunakan TiO <sub>2</sub> /kaca	83
30 (f)	Spektrum HPLC menunjukkan fotodegradasi fenol pada masa 480 minit menggunakan TiO <sub>2</sub> /kaca	83
31 (a)	Spektrum HPLC menunjukkan piawai sebatian 4-klorofenol menggunakan TiO <sub>2</sub> /kaca	84
31 (b)	Spektrum HPLC menunjukkan fotodegradasi 4-klorofenol pada masa 0 minit menggunakan TiO <sub>2</sub> /kaca	84
31 (c)	Spektrum HPLC menunjukkan fotodegradasi 4-klorofenol pada masa 120 minit menggunakan TiO <sub>2</sub> /kaca	85
31 (d)	Spektrum HPLC menunjukkan fotodegradasi 4-klorofenol pada masa 240 minit menggunakan TiO <sub>2</sub> /kaca	85
31 (e)	Spektrum HPLC menunjukkan fotodegradasi 4-klorofenol pada masa 360 minit menggunakan TiO <sub>2</sub> /kaca	86
31 (f)	Spektrum HPLC menunjukkan fotodegradasi 4-klorofenol pada masa 480 minit menggunakan TiO <sub>2</sub> /kaca	86
32	Spektrum UV menunjukkan puncak-puncak panjang gelombang maksimum semasa fotodegradasi fenol dengan kepekatan awal 20 ppm menggunakan 0.077 g TiO <sub>2</sub> /kaca	88
33	Spektrum UV menunjukkan puncak-puncak panjang gelombang maksimum semasa fotodegradasi 4-klorofenol dengan kepekatan awal 20 ppm menggunakan 0.077 g TiO <sub>2</sub> /kaca	89
34	Kesan pengkalsinan TiO <sub>2</sub> /kaca pada suhu berbeza menggunakan 0.077 g TiO <sub>2</sub> /kaca dengan kepekatan awal 20 ppm	92
35	Graf menunjukkan peratus fotodegradasi fenol pada kepekatan awal 20 ppm dalam masa 8 jam dengan pengkalsinan 0.077 g TiO <sub>2</sub> /kaca	92

36	Garis kinetik menunjukkan kesan pengkalsinan pada suhu yang berbeza dengan menggunakan kaedah berdasarkan amalan $\text{TiO}_2$ /kaca	93
37	Kesan kepekatan fenol terhadap kadar fotodegradasi menggunakan serbuk mangkin $\text{TiO}_2$	96
38	Kesan kepekatan 4-klorofenol terhadap kadar fotodegradasi menggunakan serbuk mangkin $\text{TiO}_2$	97
39	Kesan kepekatan fenol terhadap kadar fotodegradasi menggunakan 0.077 g $\text{TiO}_2$ /kaca	98
40	Kesan kepekatan 4-klorofenol terhadap kadar fotodegradasi menggunakan 0.077 g $\text{TiO}_2$ /kaca	98
41	Peratus fotodegradasi fenol pada kepekatan yang berbeza menggunakan 0.077 g $\text{TiO}_2$ /kaca dalam masa 8 jam	99
42	Peratus fotodegradasi 4-klorofenol pada kepekatan yang berbeza menggunakan 0.077 g $\text{TiO}_2$ /kaca dalam masa 8 jam	100
43	Kesan suhu larutan fenol dengan kepekatan awal 20 ppm menggunakan serbuk mangkin $\text{TiO}_2$	103
44	Kesan suhu larutan 4-klorofenol dengan kepekatan awal 20 ppm menggunakan serbuk mangkin $\text{TiO}_2$	103
45	Kesan suhu larutan fenol terhadap kadar fotodegradasi dengan kepekatan awal 20 ppm menggunakan 0.077 g $\text{TiO}_2$ /kaca	105
46	Kesan suhu larutan 4-klorofenol terhadap kadar fotodegradasi dengan kepekatan awal 20 ppm menggunakan 0.077 g $\text{TiO}_2$ /kaca	105
47	Gambaraajah menunjukkan koordinat tindak balas tenaga relatif bagi keadaan awal, keadaan akhir dan keadaan perantaraan	107
48	Graf $\ln k$ melawan $1/T$ bagi degradasi fenol	108
49	Graf $\ln k$ melawan $1/T$ bagi degradasi 4-klorofenol	109
50	Kesan penambahan ion $\text{K}^+$ terhadap kadar fotodegradasi fenol pada kepekatan 20 ppm menggunakan serbuk $\text{TiO}_2$ dengan penyinaran UV selama 8 jam	111
51	Kesan penambahan ion $\text{Ca}^{2+}$ terhadap kadar fotodegradasi fenol pada kepekatan 20 ppm menggunakan serbuk $\text{TiO}_2$ dengan penyinaran UV selama 8 jam	112

52	Kesan penambahan ion $\text{Zn}^{2+}$ terhadap kadar fotodegradasi fenol pada kepekatan 20 ppm menggunakan serbuk $\text{TiO}_2$ dengan penyinaran UV selama 8 jam	112
53	Kesan penambahan ion $\text{Na}^+$ terhadap kadar fotodegradasi fenol pada kepekatan 20 ppm menggunakan serbuk $\text{TiO}_2$ dengan penyinaran UV selama 8 jam	113
54	Kesan penambahan ion $\text{Ca}^{2+}$ terhadap kadar fotodegradasi fenol pada kepekatan 20 ppm menggunakan $\text{TiO}_2$ /kaca dengan penyinaran UV selama 8 jam	115
55	Kesan penambahan ion $\text{Zn}^{2+}$ terhadap kadar fotodegradasi fenol pada kepekatan 20 ppm menggunakan $\text{TiO}_2$ /kaca dengan penyinaran UV selama 8 jam	115
56	Kesan penambahan ion $\text{K}^+$ terhadap kadar fotodegradasi fenol pada kepekatan 20 ppm menggunakan $\text{TiO}_2$ /kaca dengan penyinaran UV selama 8 jam	116
57	Kesan penambahan ion $\text{Na}^+$ terhadap kadar fotodegradasi fenol pada kepekatan 20 ppm menggunakan $\text{TiO}_2$ /kaca dengan penyinaran UV selama 8 jam	116
58	Kesan penambahan ion $\text{K}^+$ terhadap kadar fotodegradasi 4-klorofenol pada kepekatan 20 ppm menggunakan $\text{TiO}_2$ /kaca dengan penyinaran UV selama 8 jam	117
59	Kesan penambahan ion $\text{Ca}^{2+}$ terhadap kadar fotodegradasi 4-klorofenol pada kepekatan 20 ppm menggunakan $\text{TiO}_2$ /kaca dengan penyinaran UV selama 8 jam	117
60	Kesan penambahan ion $\text{Na}^+$ terhadap kadar fotodegradasi 4-klorofenol pada kepekatan 20 ppm menggunakan $\text{TiO}_2$ /kaca dengan penyinaran UV selama 8 jam	118
61	Kesan penambahan ion $\text{Zn}^{2+}$ terhadap kadar fotodegradasi 4-klorofenol pada kepekatan 20 ppm menggunakan $\text{TiO}_2$ /kaca dengan penyinaran UV selama 8 jam	118
62 (a)	Mikrograf SEM menunjukkan $\text{TiO}_2$ yang dipegunkan di atas kaca sebanyak 0.012 g dengan pembesaran 500x	120
62 (b)	Mikrograf SEM menunjukkan $\text{TiO}_2$ yang dipegunkan di atas kaca sebanyak 0.012 g dengan pembesaran 1000x	121
63 (a)	Mikrograf SEM menunjukkan $\text{TiO}_2$ yang dipegunkan di atas kaca sebanyak 0.032 g dengan pembesaran 500x	121

63 (b)	Mikrograf SEM menunjukkan $\text{TiO}_2$ yang dipegunkan di atas kaca sebanyak 0.032 g dengan pembesaran 1000x	122
64 (a)	Mikrograf SEM menunjukkan $\text{TiO}_2$ yang dipegunkan di atas kaca sebanyak 0.057 g dengan pembesaran 500x	122
64 (b)	Mikrograf SEM menunjukkan $\text{TiO}_2$ yang dipegunkan di atas kaca sebanyak 0.057 g dengan pembesaran 1000x	123
65 (a)	Mikrograf SEM menunjukkan $\text{TiO}_2$ yang dipegunkan di atas kaca sebanyak 0.067 g dengan pembesaran 500x	123
65 (b)	Mikrograf SEM menunjukkan $\text{TiO}_2$ yang dipegunkan di atas kaca sebanyak 0.067 g dengan pembesaran 1000x	124
66 (a)	Mikrograf SEM menunjukkan $\text{TiO}_2$ yang dipegunkan di atas kaca sebanyak 0.077 g dengan pembesaran 500x	124
66 (b)	Mikrograf SEM menunjukkan $\text{TiO}_2$ yang dipegunkan di atas kaca sebanyak 0.077 g dengan pembesaran 1000x	125
67 (a)	Mikrograf SEM menunjukkan serbuk $\text{TiO}_2$ dengan pembesaran 500x	125
67 (b)	Mikrograf SEM menunjukkan serbuk $\text{TiO}_2$ dengan pembesaran 1000x	126
68	Difraktogram sinar-X sampel $\text{TiO}_2$ /kaca yang disediakan menggunakan amaun $\text{TiO}_2$ /kaca yang berbeza jisim. A = anatasa	127
69	Difraktogram pembelauan sinar-X bagi sampel serbuk mangkin $\text{TiO}_2$ . A= anatasa	129
70	Difraktogram pembelauan sinar-X menunjukkan sampel $\text{TiO}_2$ /kaca yang dikalsinkan pada suhu yang berbeza Menggunakan kaedah berdasarkan amaun $\text{TiO}_2$ /kaca (0.077 g)	132
71	Mikrograf SEM menunjukkan $\text{TiO}_2$ /kaca yang dikalsinkan pada suhu 200 °C (a) Pembesaran 500x (b) Pembesaran 1000x	134
72	Mikrograf SEM menunjukkan $\text{TiO}_2$ /kaca yang dikalsinkan pada suhu 300 °C (a) Pembesaran 500x (b) Pembesaran 1000x	135

73	Mikrograf SEM menunjukkan TiO <sub>2</sub> /kaca yang dikalsinkan pada suhu 400 °C (a) Pembesaran 500x (b) Pembesaran 1000x	136
74	Perbandingan peratus degradasi fenol terhadap amaun TiO <sub>2</sub> /kaca asal dengan TiO <sub>2</sub> /kaca yang telah diulang guna	138

## SENARAI RINGKASAN PERKATAAN

Amaun $\text{TiO}_2$ /kaca	Jisim $\text{TiO}_2$ yang dipegunkan diatas kaca
Celupan $\text{TiO}_2$ /kaca	Kaca yang dicelup berdasarkan bilangan celupan
E	Tenaga
$E_g$	Tenaga Luang Jalur
EPA	Agensi pemuliharaan Alam Sekitar
HPLC	Kromatografi Cecair Prestasi Tinggi
J.V	Jalur Valensi
J.K	Jalur Konduksi
k	Pemalar Kadar Tindak Balas
“kepekatan”	Kenaikan nilai serapan (A) bacaan UV spektrofotometer menjadikan seolah-olah berlaku kenaikan nilai kepekatan larutan
JCPDS	Gabungan Piawaian Pembelaan Serbuk
SEM	Mikroskop Imbasan Elektron
$t_{1/2}$	Masa Setengah Hayat
WHO	Organisasi Kesihatan Sedunia
XRD	Pembelaan Sinar-X
UV	Cahaya Ultra Ungu
UV/Vis	Cahaya Ultra Ungu / Cahaya Nampak



## **BAB I**

### **PENGENALAN**

#### **1.1 Pengenalan Pencemaran**

Air bersih merupakan keperluan utama seperti juga udara, makanan dan tempat tinggal yang merupakan bahan asas dalam kehidupan seharian. Air bersih memainkan peranan yang penting dalam kehidupan manusia dan juga kepada kehidupan akuatik seperti ikan dan organisma akuatik lain. Oleh itu adalah penting menjaga, mengawal dan merawat air tercemar, dimana air bersih merupakan sumber air minum yang utama.

Punca bekalan air boleh dibahagikan kepada dua klasifikasi utama: air bawah tanah dan air permukaan termasuklah air hujan. Air bawah tanah terdiri daripada mata air, perigi, air dari batu dan pasir atau air wap panas dari perut bumi manakala air permukaan pula ialah sumber air dari laut, tasik, sungai, takungan, kolam, air mengalir (air terjun) (Salvato, 1982).

Walau bagaimanapun dalam mengejar kemajuan, kita tidak dapat lari daripada masalah pencemaran, terutamanya pencemaran air dan udara. Pencemaran sumber air biasanya dikaitkan dengan kehadiran sebatian toksik dan logam berat yang tidak diingini, yang berpunca daripada aktiviti manusia sendiri. (Amin dan Jayson, 1996). Penggunaan detergen, racun serangga dalam bidang pertanian, penggunaan bahan api melalui pengangkutan dan pembakaran, tumpahan minyak akibat kemalangan dan perlanggaran kapal tangki serta pembuangan bahan merbahaya yang tidak terkawal memburukkan lagi